

28.10.2004

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 18 NOV 2004

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2003年 9月24日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2003-332020  
[ST. 10/C]: [JP2003-332020]

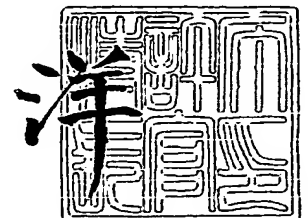
出 願 人  
Applicant(s): 京セラ株式会社

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 7月22日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願  
【整理番号】 0000323471  
【提出日】 平成15年 9月24日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01L 41/00  
【発明者】  
    【住所又は居所】 鹿児島県国分市山下町 1 番 1 号 京セラ株式会社鹿児島国分工場  
                                内  
    【氏名】 中村 成信  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000006633  
    【住所又は居所】 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地  
    【氏名又は名称】 京セラ株式会社  
    【代表者】 西口 泰夫  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 005337  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1

**【書類名】特許請求の範囲****【請求項 1】**

複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体と、該積層体の側面に設けられ、前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極とを具備してなる積層型圧電素子であって、前記外部電極が銀を主成分とする導電材とガラスからなり、前記内部電極を構成する導電材中の銀重量比率を  $X$  (%)、外部電極中の銀重量比率を  $Y$  (%) としたとき、 $X \geq 85$ 、及び  $0.9 \leq X/Y \leq 1.1$  を満たすことを特徴とする積層型圧電素子。

**【請求項 2】**

前記内部電極が導電材と圧電材からなり、前記内部電極中の銀重量比率を  $Z$  (%) とするとき、 $0.7 \leq Z/Y \leq 1.0$  を満たすことを特徴とする請求項 1 記載の積層型圧電素子。

**【請求項 3】**

前記外部電極が積層体側面に露出した前記内部電極端部と拡散接合しており、前記内部電極の導電材成分が前記外部電極に拡散してネック部を形成していることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の積層型圧電素子。

**【請求項 4】**

前記外部電極が 3 次元網目構造をなす多孔質導電体からなることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のうちいずれかに記載の積層型圧電素子。

**【請求項 5】**

前記外部電極の空隙率が 30～70 体積%であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のうちいずれかに記載の積層型圧電素子

**【請求項 6】**

前記外部電極の圧電体側表層部にガラスリッチ層が形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちいずれかに記載の積層型圧電素子。

**【請求項 7】**

前記外部電極に用いるガラスの軟化点 (°C) が、前記内部電極を構成する導電材の融点 (°C) の  $4/5$  以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のうちいずれかに記載の積層型圧電素子。

**【請求項 8】**

前記外部電極を構成するガラスが非晶質であることを特徴とする請求項 7 記載の積層型圧電素子。

**【請求項 9】**

前記外部電極の厚みが前記積層体を構成する圧電体の厚みよりも薄いことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のうちいずれかに記載の積層型圧電素子。

**【請求項 10】**

前記積層体側面に形成された凹溝内に圧電体よりもヤング率の低い絶縁体が充填され、前記内部電極と前記外部電極が一層置きに絶縁されていることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のうちいずれかに記載の積層型圧電素子

**【請求項 11】**

前記外部電極の外面に、金属のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板が埋設された導電性接着剤からなる導電性補助部材が設けられていることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のうちいずれかに記載の積層型圧電素子

**【請求項 12】**

前記導電性接着剤が導電性粒子を分散させたポリイミド樹脂からなることを特徴とする請求項 11 記載の積層型圧電素子。

**【請求項 13】**

前記導電性粒子が銀粉末であることを特徴とする請求項 12 記載の積層型圧電素子。

**【請求項 14】**

噴射孔を有する収納容器と、該収納容器内に収容された請求項 1 乃至 13 のうちいずれか

に記載の積層型圧電素子と、該積層型圧電素子の駆動により前記噴射孔から液体を噴出させるバルブとを具備してなることを特徴とする噴射装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】積層型圧電素子及びその製法並びに噴射装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、積層型圧電素子及びその製法並びに噴射装置に関し、例えば、圧電トランスや、自動車用燃料噴射装置、光学装置等の精密位置決め装置や振動防止用の駆動素子等に用いられる積層型圧電アクチュエータ等の積層型圧電素子及びその製法並びに噴射装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来より、積層型圧電素子としては、圧電体と内部電極を交互に積層した積層型圧電アクチュエータが知られている。積層型圧電アクチュエータには、同時焼成タイプと、圧電磁器と内部電極板を交互に積層したスタックタイプとの2種類に分類されており、低電圧化、製造コスト低減の面から考慮すると、同時焼成タイプの積層型圧電アクチュエータが薄層化に対して有利であるために、その優位性を示しつつある。

【0003】

図6は、従来の積層型圧電アクチュエータを示すもので、この積層型圧電アクチュエータでは、圧電体51と内部電極52が交互に積層されて積層体53が形成され、その積層方向における両端面には不活性層55が積層されている。内部電極52は、その一方の端部が積層体53の側面に左右交互に露出しており、この内部電極52の端部が露出した積層体53の側面に、外部電極70が形成されている。内部電極52の他方の端部は絶縁体61により被覆され、外部電極70とは絶縁されている。

【0004】

また、同時焼成タイプの積層型圧電アクチュエータは、圧電体の仮焼粉末と有機バインダーからなるセラミックグリーンシートに、銀-パラジウム粉末にバインダーを添加混合した内部電極ペーストを印刷したものを所定枚数積層して得られた積層成形体について、所定の温度で脱脂を行った後、焼成することによって、積層体を得ていた。

【0005】

従来の圧電体は、焼成温度として1200～1300℃の温度が必要であったため、高価なパラジウムの比率の高い銀-パラジウムが内部電極として用いられていた。しかしながら、最近では低温焼成化の技術が進み、1100℃程度の温度で焼成可能な圧電体が開発されてきたが、この場合でも内部電極の融点を考慮すると、銀比率70重量%、パラジウム比率30重量%の銀-パラジウムが必要であった。結果として、コストが高いパラジウムを30重量%も含むため、製品のコストが高くなるといった問題があった。

【0006】

また外部電極は、従来、銀83～99重量%と残部がガラス粉末1～17重量%と、有機成分からなる導電性ペーストを、積層体53の側面に塗布し、500～1000℃で焼き付けて形成されていた（例えば、特許文献1参照）。

【特許文献1】特開2000-40635号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、従来の積層型圧電アクチュエータでは、高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合、該外部電極が積層体の伸縮に追従できずに断線したり、該外部電極と内部電極の間で接点不良を起こしたりして、一部の圧電体に電圧が供給されなくなり、駆動中に変位特性が変化するという問題があった。

【0008】

即ち、近年においては、小型の積層型圧電アクチュエータで大きな圧力下において大きな変位量を確保するため、より高い電界を印加し、長期間連続駆動させることが行われているが、導電性ペーストを単に積層体の側面に塗布し、焼き付けただけでは、外部電極が

フレキシブルではなく、積層体の積層方向への伸縮に追従できず、内部電極と外部電極との接続が解除され剥離が発生したり、また外部電極にクラックが発生して断線し、一部の圧電体に電圧供給されなくなり、駆動中に変位特性が変化するという問題があった。

【0009】

本発明は、高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合でも、外部電極と内部電極とが断線することがなく、耐久性に優れた積層型圧電素子及びその製法並びに噴射装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の積層型圧電素子は、複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体と、該積層体の側面に設けられ、前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極とを具備してなる積層型圧電素子であって、前記外部電極が銀を主成分とする導電材とガラスからなり、前記内部電極を構成する導電材中の銀重量比率を  $X$  (%)、外部電極中の銀重量比率を  $Y$  (%) としたとき、 $X \geq 85$  及び  $0.9 \leq X/Y \leq 1.1$  を満たすことを特徴とする。

【0011】

また、本発明の積層型圧電素子は、前記内部電極が導電材と圧電材からなり、前記内部電極中の銀重量比率を  $Z$  (%) とするとき、 $0.7 \leq Z/Y \leq 1.0$  を満たすことを特徴とする。

【0012】

また、本発明の積層型圧電素子は、外部電極が積層体側面に露出した内部電極端部と拡散接合しており、内部電極の導電材成分が外部電極に拡散してネック部を形成していることを特徴とする。

【0013】

また、本発明の積層型圧電素子は、前記外部電極が3次元網目構造をなす多孔質導電体からなることを特徴とする。

【0014】

また、本発明の積層型圧電素子は、前記外部電極の空隙率が30～70体積%であることを特徴とする。

【0015】

また、本発明の積層型圧電素子は、前記外部電極の圧電体側表層部にガラスリッチ層が形成されていることを特徴とする。

【0016】

また、本発明の積層型圧電素子は、前記外部電極に用いるガラスの軟化点 (°C) が、前記内部電極を構成する導電材の融点 (°C) の  $4/5$  以下であることを特徴とする。

【0017】

また、本発明の積層型圧電素子は、前記外部電極を構成するガラスが非晶質であることを特徴とする。

【0018】

また、本発明の積層型圧電素子は、前記外部電極の厚みが前記積層体を構成する前記圧電体の厚みよりも薄いことを特徴とする。

【0019】

また、本発明の積層型圧電素子は、前記積層体側面に形成された凹溝内に前記圧電体よりもヤング率の低い絶縁体が充填され、前記内部電極と前記外部電極が一層置きに絶縁されていることを特徴とする。

また、本発明の積層型圧電素子は、前記外部電極の外面に、金属のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板が埋設された導電性接着剤からなる導電性補助部材が設けられていることを特徴とする。

【0020】

また、本発明の積層型圧電素子は、前記導電性接着剤が導電性粒子を分散させたポリイ

ミド樹脂からなることを特徴とする。

【0021】

また、本発明の積層型圧電素子は、前記導電性接着剤中の前記導電性粒子が銀粉末であることを特徴とする。

【0022】

また、本発明の噴射装置は、噴射孔を有する収納容器と、該収納容器内に収容された上記積層型圧電素子と、該積層型圧電素子の駆動により前記噴射孔から液体を噴出させるバルブとを具備することを特徴とする。

【発明の効果】

【0023】

このように、本発明の積層型圧電素子によれば、複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体と、該積層体の側面に設けられ、前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極とを具備してなる積層型圧電素子であって、前記外部電極が銀を主成分とする導電材とガラスからなり、前記内部電極を構成する導電材中の銀重量比率を $X$ （％）、前記外部電極中の銀重量比率を $Y$ （％）としたとき、 $X \geq 85$ 、及び $0.9 \leq X/Y \leq 1.1$ を満たすことにより、高価なパラジウムの使用量を抑制できるため、低コストで積層型圧電素子を製造することが可能になる。

【0024】

また、前記内部電極を構成する導電材中の銀の重量比率と、前記外部電極中の銀の重量比率がほぼ等しくなるため、前記外部電極を前記積層体に焼き付ける際に、前記外部電極中の銀と前記内部電極中の銀の相互拡散が促進され、前記内部電極と前記外部電極の強固な接合が可能になり、高電界、高圧力下で長時間連続駆動させる場合においても、前記外部電極と前記内部電極を断線することなく、優れた耐久性を有することができる。

【0025】

さらに、前記内部電極が導電材と圧電材からなり、前記内部電極中の銀重量比率を $Z$ （％）とするとき、 $0.7 \leq Z/Y \leq 1.0$ を満たすことにより、前記内部電極に圧電材を含むため、前記内部電極中の導電材が焼成時に圧電体と焼結すると、前記内部電極と前記圧電体との接合強度が向上するので、前記積層体の耐久性が向上する。一方で、前記内部電極中の銀重量比率が $0.7 \leq Z/Y \leq 1.0$ を満たしているため、前記内部電極中の銀重量比率と前記外部電極中の銀重量比率がほぼ等しいので、前記外部電極を焼き付けた際に、前記外部電極中の銀と前記内部電極中の銀の相互拡散が促進され、前記内部電極と前記外部電極の強固な接合が可能になり、高速で駆動させる場合においても、前記外部電極と前記内部電極との接点部の断線などを防ぐことができる。

【0026】

さらに、前記外部電極が積層体側面に露出した前記内部電極端部と拡散接合しており、前記内部電極の導電材成分が前記外部電極に拡散してネック部を形成していることにより、大電流を流して高速に駆動させる場合においても、前記内部電極と前記外部電極との接点部のスパークや断線などを防ぐことができる。

【0027】

さらに、前記外部電極が3次元網目構造をなす多孔質導電体からなることにより、駆動時に積層方向へ伸縮した場合においても、前記外部電極がフレキシブルであるため、前記外部電極が前記積層体の伸縮に対応して追従することが可能になり、前記外部電極の断線や前記外部電極と前記内部電極の接点不良などを防ぐことができる。

【0028】

さらに、前記外部電極の空隙率が30～70体積％であれば、駆動時の伸縮によって生じる応力を吸収することができるため、前記外部電極の破損を防ぐことができる。

【0029】

さらに、前記外部電極の圧電体側表層部にガラスリッチ層が形成されていることにより、前記外部電極中のガラス成分を前記圧電体との接合界面に多く存在させることを可能にするため、前記外部電極と前記積層体との接合強度を向上することができる。

## 【0030】

さらに、前記外部電極に用いるガラスの軟化点(℃)が、内部電極を構成する導電材の融点(℃)の4/5以下であれば、前記外部電極の焼き付けを前記内部電極を構成する導電材の融点よりも十分低温度で、且つ前記ガラスの軟化点より高温で行うことができるため、前記内部電極及び前記外部電極の導電材の凝集を防ぐとともに、前記内部電極中の導電材と前記外部電極の導電材との十分な拡散接合を可能にし、軟化したガラスによって強い接合強度を有することができる。

## 【0031】

さらに、前記外部電極を構成するガラスが非晶質であれば、結晶質よりもヤング率を低くすることができるため、前記外部電極に生じるクラックなどを抑制することができる。

## 【0032】

さらに、前記外部電極の厚みが前記積層体を構成する前記圧電体の厚みよりも薄くすることにより、前記外部電極の硬度が小さくなり、前記積層体が駆動時に伸縮する際に、前記外部電極と前記内部電極の接合部における負荷を小さくできるため、前記接合部の接点不良を抑制することができる。

## 【0033】

さらに、前記積層体側面に形成された凹溝内に、前記圧電体よりもヤング率の低い絶縁体が充填され、前記内部電極と前記外部電極が一層置きに絶縁されていることにより、前記内部電極と前記外部電極との絶縁を確保できるとともに、前記積層体の駆動時における伸縮に対して、凹溝内の前記絶縁体が追従して変形することができるため、凹溝近傍におけるクラック等の発生を防止でき、また、応力の発生を低減することができる。

## 【0034】

さらに、前記外部電極の外面に、金属のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板が埋設された導電性接着剤からなる導電性補助部材を設けることにより、前記積層体を大電流で高速駆動させる場合においても、前記大電流を導電性補助部材に流すことができるため、前記外部電極の局所発熱による断線を防ぐことができ、耐久性を大幅に向上させることができる。

## 【0035】

さらに、前記導電性接着剤には、金属のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板が埋設されていることにより、前記積層体の駆動時における伸縮によって生じる導電性接着剤のクラックなどを防ぐことができる。

## 【0036】

さらに、前記導電性接着剤が導電性粒子を分散させたポリイミド樹脂からなることにより、前記積層体を高温で駆動する場合においても、前記導電性接着剤が高い接着強度を維持することができる。

## 【0037】

さらに、前記導電性接着剤中の前記導電性粒子が銀粉末であれば、前記導電性接着剤の抵抗値を低くすることができるため、前記積層体を大電流で駆動する場合においても、局所発熱を防ぐことができる。

## 【0038】

また、噴射孔を有する収納容器と、該収納容器内に収容された上記積層型圧電素子と、該積層型圧電素子の駆動により前記噴射孔から液体を噴出させるバルブとを具備する噴射装置は、前記積層型圧電素子の外部電極と内部電極との断線を抑制できるため、高電界下においても、耐久性を大幅に向上することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

## 【0039】

図1は本発明の積層型圧電素子からなる積層型圧電アクチュエータの実施例を示すもので、(a)は斜視図、(b)は側面図である。

## 【0040】

本発明の積層型圧電素子からなる積層型圧電アクチュエータは、図1に示すように、複

数の圧電体 1 と複数の内部電極 2 とを交互に積層してなる四角柱状の積層体 10 の側面において、内部電極 2 の端部を一層おきに絶縁体 3 で被覆し、絶縁体 3 で被覆していない内部電極 2 の端部に、銀を主成分とする導電材とガラスからなり、且つ 3 次元網目構造をなす多孔質導電体からなる外部電極 4 を接合し、各外部電極 4 にリード線 6 を接続固定して構成されている。

#### 【0041】

圧電体 1 の間には内部電極 2 が配されているが、この内部電極 2 は銀-パラジウム等の金属材料で形成されており、各圧電体 1 に所定の電圧を印加し、圧電体 1 に逆圧電効果による変位を起こさせる作用を有している。

#### 【0042】

これに対して、不活性層 9 は内部電極 2 が配されていない複数の圧電体 1 の層であるため、電圧を印加しても変位を起こさない。

#### 【0043】

また、積層体 10 の対向する側面には外部電極 4 が接合されており、この外部電極 4 には、積層されている内部電極 2 が一層おきに電氣的に接続されているため、接続されている各内部電極 2 に圧電体 1 を逆圧電効果により変位させるに必要な電圧を共通に供給することができる。

#### 【0044】

さらに、外部電極 4 にはリード線 6 が半田等により接続固定されているため、外部電極 4 を外部の電圧供給部に接続することができる。

#### 【0045】

そして本発明の積層型圧電アクチュエータでは、外部電極 4 が銀を主成分とする導電材とガラスからなり、前記内部電極 2 が導電材と圧電材を含み、内部電極 2 の導電材中の銀重量比率を  $X$  (%)、導電材と圧電材を含めた内部電極 2 中の銀重量比率を  $Z$  (%)、銀を主成分とした導電材とガラスからなる外部電極 4 中の銀重量比率を  $Y$  (%) としたとき、 $X \geq 85$ 、及び  $0.9 \leq X/Y \leq 1.1$  を満たさなければならない。これは、 $X$  が 85 % 未満であれば、必然的に内部電極 2 を構成するパラジウムの重量比率が増大するため、低コストで積層型圧電アクチュエータを製造できない。また、 $X/Y$  が 0.9 未満では、内部電極 2 中の銀の量が外部電極 4 中の銀の量に対して相対的に少なくなるため、外部電極 4 を焼き付ける際に、内部電極 2 と外部電極 4 に含まれている銀同士の相互拡散が少なくなり、内部電極 2 と外部電極 4 の接合強度が弱くなり、積層型圧電アクチュエータの耐久性が低下するためである。また、 $X/Y$  が 1.1 を超えると、外部電極 4 中の銀の量が内部電極 2 に対して相対的に少なくなるため、外部電極 4 を焼き付ける際に、内部電極 2 と外部電極 4 に含まれている銀同士の相互拡散が少なくなり、内部電極 2 と外部電極 4 の接合強度が弱くなり、積層型圧電アクチュエータの耐久性が低下するためである。

#### 【0046】

これに対して、内部電極 2 の導電材中の銀重量比率を  $X$  (%)、銀を主成分とした導電材とガラスからなる外部電極 4 中の銀重量比率を  $Y$  (%) としたとき、 $X \geq 85$ 、及び  $0.9 \leq X/Y \leq 1.1$  を満たすと、内部電極 2 を構成する高価なパラジウムの使用量を抑制できるため、低コストで積層型圧電素子を製造することが可能になる。また、内部電極 2 中の銀重量比率  $X$  (%) と外部電極 4 中の銀重量比率  $Y$  (%) とがほぼ等しくなるため、外部電極 4 を焼き付ける際に、内部電極 2 と外部電極 4 に含まれている銀同士の相互拡散が促進され、内部電極 2 と外部電極 4 の強固な接合が可能になり、高電界、高圧下で長時間連続駆動させる場合においても、内部電極 2 と外部電極 4 を断線することなく、優れた耐久性を有することができる。

#### 【0047】

さらに、内部電極 2 が導電材と圧電材からなり、内部電極 2 中の銀重量比率を  $Z$  (%) とするとき、 $0.7 \leq Z/Y \leq 1.0$  を満たすことが望ましい。これは、 $Z/Y$  が 0.7 未満では、内部電極 2 中の銀の量が外部電極 4 中の銀の量に対して相対的に少なくなるため、外部電極 4 より内部電極 2 の抵抗値が高くなるので、内部電極 2 に局所発熱が生じる

。また、 $Z/Y$ が1.0を超えると、内部電極2中の圧電材が少なくなるため、内部電極2と圧電体1の界面の密着強度が弱くなり、内部電極2と圧電体1の界面で剥離が生じる。また、外部電極4中の銀の量が内部電極2に対して相対的に少なくなるので、内部電極2と外部電極4間の銀の相互拡散が少なくなり、内部電極2と外部電極4の接合強度が弱くなる場合がある。

#### 【0048】

図2(a)は、図1(b)の部分拡大図、(b)は図2(a)をさらに拡大した図であり、

図2の(b)、(c)に示すように、外部電極4が積層体側面に露出した内部電極2の端部と拡散接合しており、内部電極2の導電材成分が外部電極4に拡散してネック部4bを形成することが望ましい。ネック部4bが存在しないと大電流を流して積層型圧電アクチュエータを高速で駆動させる際に、外部電極4と内部電極2の接点部分で局所発熱を起したり、スパーク等が生じる場合がある。

#### 【0049】

さらに、外部電極4が3次元網目構造をなす多孔質導電体からなるのが望ましい。外部電極4が3次元網目構造をなす多孔質導電体で構成されていなければ、外部電極4はフレキシブル性を有しないため、積層型圧電アクチュエータの伸縮に追従できなくなるので、外部電極4の断線や外部電極4と内部電極2の接点不良が生じる場合がある。ここで、3次元網目構造とは、外部電極4にいわゆる球形のボイドが存在している状態を意味するのではなく、外部電極4を構成する導電材粉末とガラス粉末が、比較的低温で焼き付けられている為に、焼結が進みきらずにボイドがある程度連結した状態で存在し、外部電極4を構成する導電材粉末とガラス粉末が3次的に連結、接合した状態を示唆している。

#### 【0050】

あるいは、外部電極4中の空隙率が30～70体積%であることが望ましい。ここで、空隙率とは、外部電極4中に占める空隙4aの比率である。これは、外部電極4中の空隙率が30体積%より小さければ、外部電極4が積層型圧電アクチュエータの伸縮によって生じる応力に耐えきれずに、外部電極4が断線する可能性がある。また、外部電極4中の空隙率が70体積%を超えると、外部電極4の抵抗値が大きくなるため、大電流を流した際に外部電極4が局所発熱を起こして断線してしまう可能性がある。

#### 【0051】

さらに、外部電極4の圧電体1側表層部にガラスリッチ層が形成されていることが望ましい。これは、ガラスリッチ層が存在しないと、外部電極4中のガラス成分との接合が困難になるため、外部電極4が圧電体1との強固な接合が容易でなくなる可能性がある。

#### 【0052】

また、外部電極4を構成するガラスの軟化点(℃)が、内部電極2を構成する導電材の融点(℃)の4/5以下であることが望ましい。これは、外部電極4を構成するガラスの軟化点が、内部電極2を構成する導電材の融点の4/5を超えると、外部電極4を構成するガラスの軟化点と内部電極2を構成する導電材の融点と同程度の温度になるため、外部電極4を焼き付ける温度が必然的に内部電極2を構成する融点に近づくので、外部電極4の焼き付けの際に、内部電極2及び外部電極4の導電材が凝集して拡散接合を妨げたり、また、焼き付け温度を外部電極4のガラス成分が軟化するのに十分な温度に設定できないため、軟化したガラスによる十分な接合強度を得ることができない場合がある。

#### 【0053】

さらに、外部電極4を構成するガラスを非晶質にすることが望ましい。これは、結晶質のガラスでは、積層型圧電アクチュエータの伸縮によって生じる応力を外部電極4が吸収できないので、クラック等が発生する場合がある。

#### 【0054】

さらに、外部電極4の厚みが圧電体1の厚みよりも薄いことが望ましい。これは、外部電極4の厚みが圧電体1の厚みよりも厚いと、外部電極4の強度が増大するため、積層体10が伸縮する際に、外部電極4と内部電極2の接合部の負荷が増大し、接点不良が生じ

る場合がある。

【0055】

さらに、図2及び図3に示すように、積層体10の側面に形成された凹溝内に圧電体1よりもヤング率の低い絶縁体3が充填され、内部電極2と外部電極4が一層置きに絶縁されていることが望ましい。内部電極2間に挟まれた圧電体1は、隣り合う内部電極2間に印加された電圧により伸縮するが、内部電極2に挟まれていない積層体10の側面付近の圧電体1には、内部電極2に電圧を印加しても伸縮しないので、内部電極2に電圧が印加される度に、圧縮応力や引張応力が発生する。これに対し、積層体10の側面に凹溝を形成し、この凹溝内に圧電体1よりもヤング率の低い絶縁体3を充填することにより、積層体10が伸縮した場合に積層体10の側面に発生する応力を、絶縁体3が伸縮することにより低減することが可能となり、これにより耐久性を改善することができる。

【0056】

この時、前記凹溝に充填される絶縁体3のヤング率が圧電体1より大きいと、上記のように積層体10の側面付近に発生する応力を絶縁体3の伸縮で緩和できないので、積層型圧電素子の耐久性が低下する可能性がある。

【0057】

さらに、図4に示すように、外部電極4の外面に、金属のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板が埋設された導電性接着剤からなる導電性補助部材7を設けられることが望ましい。外部電極4の外面に導電性補助部材7を設けないと、積層体10に大電流を流して駆動する際に、外部電極4が大電流に耐えきれずに局所発熱してしまい、断線する可能性がある。

【0058】

また、外部電極4の外面にメッシュ若しくはメッシュ状の金属板を使用しないと、積層体10の伸縮による応力が外部電極4に直接作用することにより、駆動中の疲労によって外部電極4が積層体10の側面から剥離しやすくなる可能性がある。

【0059】

さらに、導電性接着剤が導電性粒子を分散させたポリイミド樹脂からなることが望ましい。これは、ポリイミド樹脂を使用することにより、積層体10を高温下で駆動させる際にも、比較的高い耐熱性を有するポリイミド樹脂を使用することによって、導電性接着剤が高い接着強度を維持しやすい。

【0060】

さらに、導電性粒子が銀粉末であることが望ましい。これは、導電性粒子に比較的抵抗値の低い銀粉末を使用することによって、導電性接着剤における局所発熱を抑制しやすい。

【0061】

さらに、図5は、本発明の積層型圧電素子からなる噴射装置を示すもので、噴射孔33を有する収納容器31と、この収納容器31に収容された圧電アクチュエータ43と、この圧電アクチュエータの駆動により噴射孔33から液体を噴出させるバルブ35を有している。

【0062】

噴射孔33には燃料通路37が連通可能に設けられ、この燃料通路37は外部の燃料供給源に連結され、燃料通路37に常時一定の高圧で燃料が供給されている。従って、バルブ35が噴射孔33を開放すると、燃料通路37に供給されていた燃料が一定の高圧で内燃機関の図示しない燃料室内に噴出されるように形成されている。

【0063】

また、バルブ35の上端部は直径が大きくなっており、収納容器31に形成されたシリンダ39と摺動可能なピストン41となっている。

【0064】

このような噴射装置では、圧電アクチュエータ43が電圧を印加されて伸長すると、ピストン41が押圧され、ニードルバルブ35が噴射孔33を閉塞し、燃料の供給が停止さ

れる。また、電圧の印加が停止されると圧電アクチュエータ43が収縮し、皿バネ45がピストン41を押し返し、噴射孔33が燃料通路37と連通して燃料の噴射が行われるようになっている。

#### 【0065】

圧電体1は、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛 $Pb(Zr, Ti)O_3$ （以下PZTと略す）、或いはチタン酸バリウム $BaTiO_3$ を主成分とする圧電セラミックス材料等で形成されている。この圧電セラミックスは、その圧電特性を示す圧電歪み定数 $d_{33}$ が高いものが望ましい。

#### 【0066】

また、圧電体1の厚み、つまり内部電極2間の距離は $50 \sim 250 \mu m$ が望ましい。これにより、積層型圧電アクチュエータは電圧を印加してより大きな変位量を得るために積層数を増加しても、積層型圧電アクチュエータの小型化、低背化ができるとともに、圧電体1の絶縁破壊を防止できる。

#### 【0067】

また、コスト面から、内部電極2として低パラジウム比率の銀-パラジウム合金を用いることが望ましいが、このためには、 $980^\circ C$ 以下程度で焼成可能な圧電体1を用いることが望ましく、この圧電体1を構成する材料は、 $PbZrO_3 - PbTiO_3$ を主成分とし、副成分として $Pb(Yb_{1/2}Nb_{1/2})O_3$ 、 $Pb(Co_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ 及び $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ を $10 \sim 20 mol\%$ 含有させたものが好ましい。即ち、銀-パラジウム合金の状態図から、パラジウムが5重量%の銀-パラジウム合金を用いる際には、 $980^\circ C$ 以下の温度で焼成可能な圧電体1としては、例えば、 $PbZrO_3 - PbTiO_3$ を主成分とし、副成分として $Pb(Yb_{1/2}Nb_{1/2})O_3$ 、 $Pb(Co_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ 及び $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ を $10 \sim 20 mol\%$ 含有させたものを用いることができる。

#### 【0068】

ここで、パラジウム5重量%の銀-パラジウム合金を内部電極2として用いた場合において、 $1100^\circ C$ の温度で焼成してしまうと、焼成温度が内部電極2構成する導電材（銀-パラジウム合金）の融点を超えてしまい、内部電極2の導電材が凝集してしまい、デラミネーションが発生するといった問題が生じてしまう。即ち、内部電極2の導電材に低パラジウム比率の銀-パラジウム合金を用いるためには、圧電体1の焼成温度を $980^\circ C$ 以下程度に下げる必要がある。

#### 【0069】

外部電極4は、導電材87~99.5重量%と、ガラス粉末0.5~13重量%からなり、微量のガラスが導電材中に分散している。この外部電極4は、積層体10の側面に部分的に接合している。即ち、積層体1aの側面に露出した内部電極2の端部とは内部電極2中の導電材と外部電極4中の導電材が拡散接合しており、積層体10の圧電体1の側面とは、主に外部電極4中のガラス成分を介して接合している。つまり、圧電体1の側面とは外部電極4中の導電材とガラスの混合物が部分的に接合し、圧電体1の側面と外部電極4との間には空隙4aが形成されている。また、外部電極4中にも空隙4aが多数形成され、これにより、外部電極4が多孔質導電体から構成されている。空隙4aの形状は、導電材とガラスの焼き付け前の形状が比較的そのまま残存する複雑な形状である。

#### 【0070】

また、外部電極4は、積層型圧電アクチュエータの伸縮によって生じる応力を十分に吸収するために、外部電極4の導電材はヤング率の低い銀、若しくは銀を主成分とした合金からなることが望ましく、また、外部電極4全体としては、フレキシブルな3次元網目構造をなす多孔質導体で形成されていることが望ましい。

#### 【0071】

また、積層体10の側面に一層おきに深さ $30 \sim 500 \mu m$ 、積層方向の幅 $30 \sim 200 \mu m$ の溝が形成されており、この溝内にガラス、エポキシ樹脂、ポリイミド樹脂、ポリアミドイミド樹脂、シリコーンゴム等が充填されて絶縁体3が形成されている。この絶縁

体3は、積層体10との接合を強固とするために、積層体1aの変位に対して追従する弾性率が低い材料、特にシリコンゴム等からなることが好適である。

#### 【0072】

次に、本発明の積層型圧電素子からなる積層型圧電アクチュエータの製法を説明する。

#### 【0073】

本発明の積層型圧電アクチュエータは、先ず、PZT等の圧電セラミックスの仮焼粉末と、アクリル系、ブチラール系等の有機高分子から成るバインダーと、DBP（フタル酸ジブチル）、DOP（フタル酸ジブチル）等の可塑剤とを混合してスラリーを作製し、該スラリーを周知のドクターブレード法やカレンダーロール法等のテープ成形法により圧電体1となるセラミックグリーンシートを作製する。

#### 【0074】

次に、銀-パラジウム粉末にバインダー、可塑剤等、及び必要に応じて前記圧電セラミックスの仮焼粉末等を添加混合して、内部電極2をなす導電性ペーストを作製し、これを前記各グリーンシートの上面にスクリーン印刷等によって1~40 $\mu$ mの厚みに印刷する。

#### 【0075】

そして、上面に導電性ペーストが印刷されたグリーンシートを複数枚積層し、この積層体について所定の温度で脱バインダーを行った後、900~1200℃で焼成することによって積層体10を作製する。

#### 【0076】

ここで、コスト面から、内部電極2を形成する銀-パラジウム合金としては、低パラジウム比率のものが望ましく、特に、パラジウム比率が10重量%以下のものがより好ましい。このためには、圧電体1が980℃以下で焼成できる材料であることが望ましく、例えば、 $PbZrO_3-PbTiO_3$ を主成分とし、副成分として $Pb(Yb_{1/2}Nb_{1/2})O_3$ 、 $Pb(Co_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ 及び $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ を10~20mol%含有させた材料を圧電体1に用いればよい。また、内部電極を構成する銀-パラジウムは、銀とパラジウムの合金粉末を用いても、銀粉末とパラジウム粉末の混合物を用いても良い。なお、銀粉末とパラジウム粉末の混合物を用いた場合においても、焼成時に銀-パラジウムの合金が形成される。

#### 【0077】

また、内部電極2を形成するための導電性ペーストに添加する圧電材（圧電セラミックスの仮焼粉末）の比率は、内部電極2と圧電体1の接合強度を強固なものにし、また、内部電極2の抵抗値を十分低くするので、焼成後の内部電極2中に導電材が75~93重量%、残部の圧電材が7~25重量%含まれることが望ましい。

#### 【0078】

尚、積層体10は、上記製法によって作製されるものに限定されるものではなく、複数の圧電体1と複数の内部電極2とを交互に積層してなる積層体10を作製できれば、どのような製法によって形成されても良い。

#### 【0079】

その後、図3(a)に示すように、ダイシング装置等により積層体10の側面に一層おきに凹溝を形成する。

#### 【0080】

さらに、粒径0.1~10 $\mu$ mの銀粉末を87~99.5重量%と、残部が粒径0.1~10 $\mu$ mでケイ素を主成分とする軟化点が450~800℃のガラス粉末0.5~13重量%からなる混合物に、バインダーを加えて銀ガラス導電性ペーストを作製し、これを成形し、乾燥した（溶媒を飛散させた）シート21の生密度を6~9g/cm<sup>3</sup>に制御し、このシート21を、図3(b)に示すように、溝が形成された積層体1aの外部電極形成面に転写し、ガラスの軟化点よりも高い温度、且つ銀の融点以下の温度で焼き付けを行うことにより、外部電極4を形成することができる。

#### 【0081】

また、図3(c)に示すように、銀ガラス導電性ペーストを用いて作製したシート21中のバインダー成分が飛散消失し、3次元網目構造をなす多孔質導電体からなる外部電極4を形成することも可能であり、特に、3次元網目構造の外部電極4を形成するには、シート21の生密度を $6 \sim 9 \text{ g/cm}^3$ に制御し、さらに、外部電極4の空隙率を30~70%とするためには、生密度を $6.2 \sim 7.0 \text{ g/cm}^3$ とすることが望ましい。シート21の生密度はアルキメデス法により測定できる。

#### 【0082】

この銀ガラスペーストの焼き付けによって、外部電極4中に空隙4aが形成されるとともに、銀ガラスペースト中の銀が内部電極2中の銀-パラジウム合金と拡散接合し、ネック部4bが形成されてもよく、外部電極4が積層体10側面に部分的に接合される。ネック部4bでは、内部電極2の銀-パラジウム合金と外部電極4の銀が相互拡散するので、内部電極2から拡散したパラジウムは一般的な分析手法(例えば、EPMA、EDS等)で検出できる。

#### 【0083】

なお、前記銀ガラスペーストの焼き付け温度は、ネック部4bを有効的に形成し、銀ガラスペースト中の銀と内部電極2を拡散接合させ、また、外部電極4中の空隙4aを有効に残存させ、さらには、外部電極4と積層体1a側面とを部分的に接合させるという点から、 $550 \sim 700^\circ\text{C}$ が望ましい。また、銀ガラスペースト中のガラス成分の軟化点は、 $500 \sim 700^\circ\text{C}$ が望ましい。

#### 【0084】

焼き付け温度が $700^\circ\text{C}$ より高い場合には、銀ガラスペーストの銀粉末の焼結が進みすぎ、有効的な3次元網目構造をなす多孔質導電体を形成することができず、外部電極4が緻密になりすぎてしまい、結果として外部電極4のヤング率が高くなりすぎ駆動時の応力を十分に吸収することができずに外部電極4が断線してしまう可能性がある。好ましくは、ガラスの軟化点の1.2倍以内の温度で焼き付けを行った方がよい。

#### 【0085】

一方、焼き付け温度が $500^\circ\text{C}$ よりも低い場合には、内部電極2端部と外部電極4の間で十分に拡散接合がなされないために、ネック部4bが形成されず、駆動時に内部電極2と外部電極4の間でスパークを生じる可能性がある。

#### 【0086】

また、銀ガラスペーストのシート21の厚みは、圧電体1の厚みよりも薄いことが望ましい。さらに好ましくは、積層型圧電アクチュエータの伸縮に追従するためにも、 $50 \mu\text{m}$ 以下がより好ましい。

#### 【0087】

銀ガラス導電性ペースト21中の銀粉末を87~99.5重量%、残部のガラス粉末を0.5~13重量%としたのは、銀粉末が87重量%より少ない場合には、相対的にガラス成分が多くなり、焼き付けを行った際に、外部電極4中に有効的に空隙4aを形成することや該外部電極4と積層体10側面とを部分的に接合することができず、一方、銀粉末が97体積%99.5重量%より多い場合には、相対的にガラス成分が少なくなり外部電極4と積層体10との接合強度が弱くなり、積層型圧電アクチュエータの駆動中に外部電極4が積層体10から剥離してしまう可能性があるからである。

#### 【0088】

また、外部電極4を構成するガラス成分は、シリカガラス、ソーダ石灰ガラス、鉛アルカリけい酸ガラス、アルミノほうけい酸塩ガラス、ほうけい酸塩ガラス、アルミノけい酸塩ガラス、ほう酸塩ガラス、りん酸塩ガラス、鉛ガラス等を用いる。

#### 【0089】

例えば、ほうけい酸塩ガラスとしては、 $\text{SiO}_2$  40~70重量%、 $\text{B}_2\text{O}_3$  2~30重量%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0~20重量%、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{SrO}$ 、 $\text{BaO}$ のようなアルカリ土類金属酸化物を総量で0~10重量%、アルカリ金属酸化物0~10重量%含有するものを使用することができる。また、上記ほうけい酸塩ガラスに、5~30重量%の $\text{ZnO}$ を

含むようなガラスとしても構わない。 $ZnO$ は、ほうけい酸塩ガラスの作業温度を低下させる効果がある。

#### 【0090】

また、りん酸塩ガラスとしては、 $P_2O_5$  40～80重量%、 $Al_2O_3$  0～30重量%、 $B_2O_3$  0～30重量%、 $ZnO$  0～30重量%、アルカリ土類金属酸化物0～30重量%、アルカリ金属酸化物0～10重量%を含むようなガラスを使用することができる。

#### 【0091】

また、鉛ガラスとしては、 $PbO$  30～80重量%、 $SiO_2$  0～40重量%、 $Bi_2O_3$  0～30重量%、 $Al_2O_3$  0～20重量%、 $ZnO$  0～30重量%、アルカリ土類金属酸化物0～30重量%、アルカリ金属酸化物0～10重量%を含むようなガラスを使用することができる。

#### 【0092】

次に、外部電極4を形成した積層体10をシリコンゴム溶液に浸漬し、前記シリコンゴム溶液を真空脱気することにより、積層体10の溝内部にシリコンゴムからなる絶縁層3を充填し、その後シリコンゴム溶液から積層体10を引き上げ、積層体10の側面にシリコンゴムをコーティングする。その後、溝内部に充填、及び積層体10側面にコーティングした前記シリコンゴムを硬化させる。

#### 【0093】

その後、外部電極4にリード線6を半田等で接続することにより本発明の積層型圧電素子からなる積層型圧電アクチュエータが完成する。

#### 【0094】

そして、リード線6を介して一対の外部電極4に0.1～3kV/mmの直流電圧を印加し、積層体10を分極処理することによって、製品としての積層型圧電アクチュエータが完成し、リード線6を外部の電圧供給部に接続し、リード線6及び外部電極4を介して内部電極2に電圧を印加させれば、各圧電体1は逆圧電効果によって大きく変位し、これによって例えばエンジンに燃料を噴射供給する自動車用燃料噴射弁として機能する。

#### 【実施例】

#### 【0095】

本発明の積層型圧電素子からなる積層型圧電アクチュエータを以下のようにして作製した。

#### 【0096】

まず、PZTを主成分とする圧電セラミックスの仮焼粉末、バインダー、及び可塑剤を混合したスラリーを作製し、ドクターブレード法で厚み150 $\mu m$ の圧電体1になるセラミックグリーンシートを作製した。

#### 【0097】

このグリーンシートの片面に、銀の重量比率X(%)が85～95重量%になるようにパラジウムを混合させた銀-パラジウム合金にバインダーを加えた導電性ペーストをスクリーン印刷法により3 $\mu m$ 厚みで形成し、前記セラミックグリーンシートを300枚積層し、980～1100℃で焼成して図1の積層体10を得た。

#### 【0098】

次に、図3(a)に示すように、ダイシング装置により積層体10側面の内部電極2の端部に一層おきに深さ50 $\mu m$ 、幅50 $\mu m$ の溝を形成した。

#### 【0099】

次に、平均粒径2 $\mu m$ のフレーク状の銀粉末を銀の重量比率Y(%)が84～97重量%になるように平均粒径2 $\mu m$ のケイ素を主成分とする軟化点が640℃の非晶質のガラス粉末を混合させ、さらに、銀粉末とガラス粉末の合計重量100重量部に対して8重量部のバインダーを添加し、混合して銀ガラス導電性ペーストを作製した。このように作製した銀ガラスペーストを離型フィルム上にスクリーン印刷によって形成し、乾燥後、離型フィルムより剥がして、銀ガラス導電性ペーストのシートを得た後に、前記銀ガラス導電

ペーストのシートを積層体10の対向する一対の側面に転写し、650℃で30分焼き付けを行い、外部電極4を形成した。

#### 【0100】

また、内部電極2と外部電極4の接合部には、内部電極2中の銀-パラジウム合金と外部電極4中の銀ガラス導電性ペースト中の銀が互いに拡散したネック部4bが形成されており、このネック部4bをEPMAにより分析を行ったところ、内部電極2からパラジウムが拡散していることが確認された。

#### 【0101】

また、上記で形成された外部電極4の空隙率は、外部電極4の断面写真により空隙率は40%であった。さらに、外部電極4の断面写真により測定したところ、外部電極4と積層体10側面の接合部分は、約50%であった。また、外部電極4の圧電体側表層部には銀ガラス導電性ペースト中のガラス成分が偏在したガラスリッチ層が形成されていた。

#### 【0102】

その後、外部電極にリード線を接続し、正極及び負極の外部電極にリード線を介して3kV/mmの直流電界を15分間印加して分極処理を行い、図1に示すような積層型圧電アクチュエータを作製した。

#### 【0103】

(実施例1) 上記の製法を用いて作製された本発明の積層型圧電アクチュエータにおいて、内部電極2導電材中の銀重量比率X(%)と外部電極中の銀重量比率Y(%)を $X \geq 85$ の範囲で形成し、 $X/Y$ の値と積層型圧電アクチュエータの駆動との関連を検証した。

#### 【0104】

また、比較例として、上記の $X/Y$ の値を $X/Y < 0.9$ 、または $X/Y > 1.1$ の範囲で形成した試料を作製した。

#### 【0105】

上記のようにして得られた積層型圧電アクチュエータに対して、185Vの直流電圧を印加したところ、すべての積層型圧電アクチュエータにおいて、積層方向に $49 \mu\text{m}$ の変位量が得られた。さらに、これらの積層型圧電アクチュエータを室温で0～+185Vの交流電界を150Hzの周波数で印加して $2 \times 10^8$ サイクルまで駆動試験を行った。結果は表1に示す通りである。

【表1】

試料番号	内部電極導電材中の銀重量比率X	外部電極中の銀重量比率Y	$X/Y$ 値	評価結果 ( $2 \times 10^8$ サイクル後)
1	95	97	0.98	異常なし
2	95	86.5	1.1	異常なし
3	88	97.5	0.9	異常なし
*4	85	97	0.88	変位量の低下
*5	95	84	1.13	変位量の低下

\*を付した試料番号は本発明の請求範囲外のものである

#### 【0106】

この表1から、比較例である試料番号4は、 $X/Y$ の値が0.9未満であったために、内部電極2中の銀の量が外部電極4に対して相対的に少なくなり、また、内部電極2中の銀の量が少なくなることにより内部電極2の融点が高くなったので、内部電極2と外部電極4の間で銀の相互拡散が少なくなり、これによって、ネック部4bの強度が低下したために、積層型圧電アクチュエータを高速で連続駆動させた場合に、ネック部4bが積層体10の伸縮によって生じる応力で断線し、一部の圧電体1に電圧が供給されなくなった。

め、駆動サイクルが増加するにつれて積層体10の変位量が低下するので、積層型圧電アクチュエータとしての耐久性が低下した。

#### 【0107】

また、比較例である試料番号5は、 $X/Y$ の値が1.1を超えたために、外部電極4中の銀の量が内部電極2導電材中の銀の量に対して相対的に少なくなり、内部電極2と外部電極4間で銀の相互拡散が少なくなり、これによって上記と同様に、ネック部4bが積層体10の伸縮によって生じる応力で断線し、一部の圧電体1に電圧が供給されなくなったため、駆動サイクルが増加するにつれて積層体10の変位量が低下するので、積層型圧電アクチュエータとしての耐久性が低下した。

#### 【0108】

これらに対して、本発明の実施例である試料番号1～3では、 $X \geq 85$ において $0.9 \leq X/Y \leq 1.1$ の範囲内で形成された積層型圧電アクチュエータであったために、内部電極2と外部電極4間で銀の相互拡散が促進され、内部電極2と外部電極4の接合が強固になったために、 $2 \times 10^8$ サイクル後も $49 \mu m$ の変位量が得られ、また、 $2 \times 10^8$ サイクル後外部電極4にスパークや断線等の異常が生じることなく、積層型圧電アクチュエータとして優れた耐久性を有した。

#### 【0109】

(実施例2) 上記の製法において、銀-パラジウム合金に圧電セラミックスの仮焼粉末を加えた導電性ペーストで形成された内部電極2を用いて作製された積層型圧電アクチュエータにおいて、導電材と圧電材を有する内部電極2の銀の重量比率を $Z$ (%)として、外部電極4中の銀重量比率 $Y$ (%)と内部電極2中の銀重量比率 $Z$ (%)で積層型アクチュエータを形成し、 $Z/Y$ の値と積層型圧電アクチュエータの駆動との関連を検証した。

#### 【0110】

上記のようにして得られた積層型圧電アクチュエータに対して、185Vの直流電圧を印加したところ、すべての試料において積層方向に $49 \mu m$ の変位量が得られた。さらに、これらの積層型圧電アクチュエータに対して、室温で0～+185Vの交流電界を150Hzの周波数で印加して $5 \times 10^8$ サイクルまで駆動試験を行った。結果は表2に示す通りである。

【表2】

試料番号	内部電極中の銀重量比率 $Z$	外部電極中の銀重量比率 $Y$	$Z/Y$ 値	評価結果 ( $5 \times 10^8$ サイクル後)
6	80	97	0.82	異常なし
7	86.5	86.8	1	異常なし
8	68.5	97.5	0.7	異常なし
9	90	84	1.07	変位量の低下
10	63	96	0.66	初期より変位量低下

#### 【0111】

この表2から、試料番号9は $Z/Y$ の値が1.0よりも大きいため、内部電極2中の圧電材が少なくなり、内部電極2と圧電体1の界面の密着強度が弱くなるので、駆動中に内部電極2と圧電体1の一部で剥離が生じ、一部の圧電体1に電圧を供給できなくなり、変位量が低下した。

#### 【0112】

また、試料番号10は $Z/Y$ の値が0.7より小さいために、内部電極2中の銀の量が少なくなり、外部電極4と比較して内部電極2の抵抗値が高くなるので、高周波数で連続駆動させた場合にその高い抵抗値による電圧降下により圧電体1に十分な電圧を供給できなくなり、変位量が低下した。

#### 【0113】

これに対して、試料番号 6～8 では、 $5 \times 10^8$  サイクル後も  $49 \mu\text{m}$  の変位量が得られ、内部電極 2 と外部電極 4 との接点部の断線等の異常は生じなかった。

【産業上の利用可能性】

【0114】

本発明の積層型圧電素子は、圧電トランスに利用できる。また、本発明の積層型圧電素子は、自動車用燃料噴射装置、光学装置等の精密位置決め装置や振動防止用の駆動素子等に用いられる積層型圧電アクチュエータに利用できる。さらに、本発明の積層型圧電素子を用いることにより、自動車用燃料やインクジェットプリンタのインク等の噴射装置に利用できる。

【図面の簡単な説明】

【0115】

【図 1】本発明の積層型圧電素子を示すもので、(a) は斜視図、(b) は側面図である。

【図 2】(a) 及び (b) は図 1 (b) の部分拡大図、(c) は (b) に相当する断面の拡大写真である。

【図 3】(a) ～ (c) は本発明の積層型圧電素子の製法を説明するための説明図である。

【図 4】外部電極の外面に導電性補助部材を形成した積層型圧電素子を示すもので、(a) は斜視図、(b) は側面図、(c) は (b) の部分拡大図である。

【図 5】本発明の噴射装置を示す側面図である。

【図 6】従来の積層型圧電アクチュエータの側面図である。

【符号の説明】

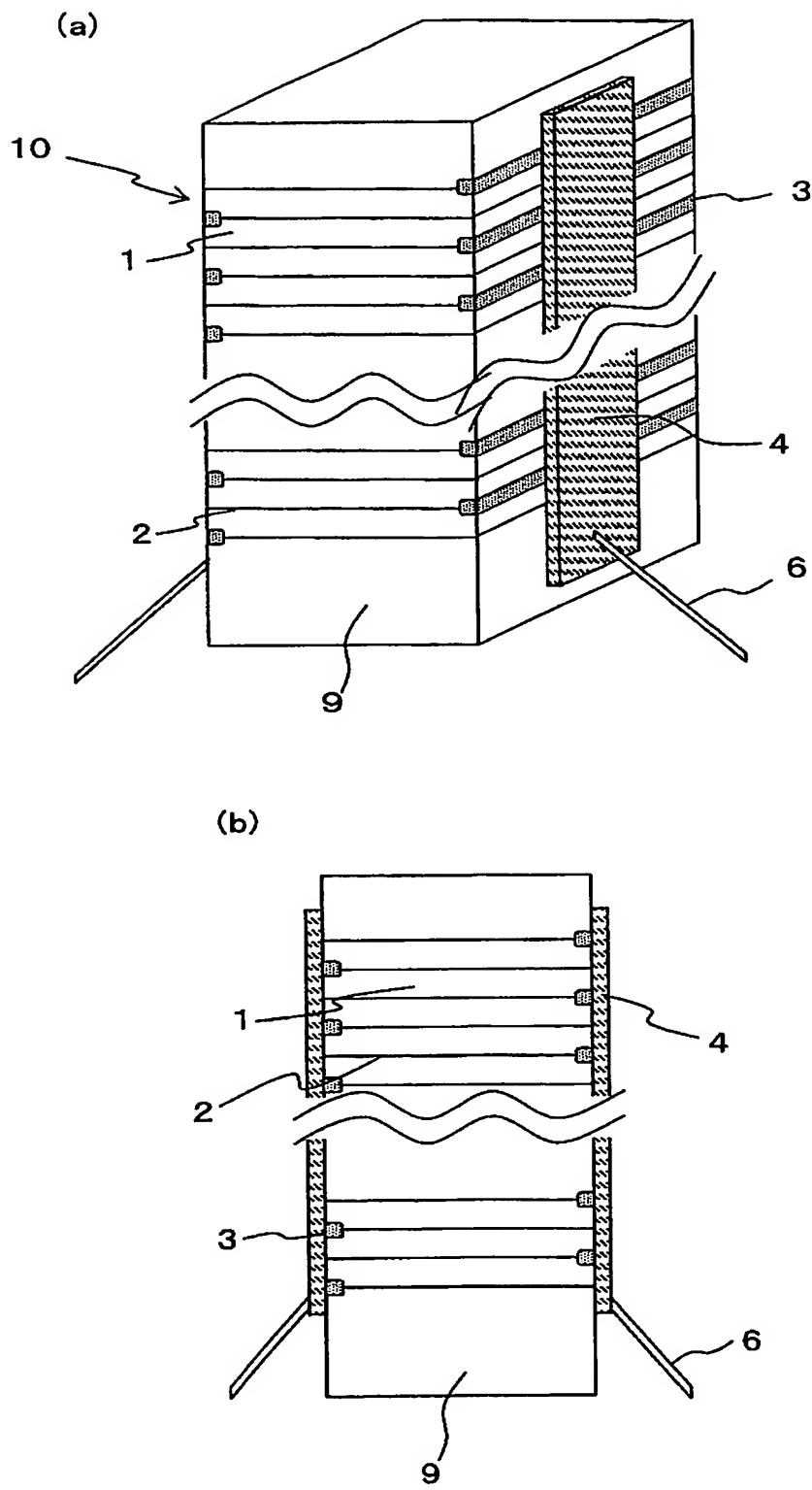
【0116】

- 1 . . . 圧電体
- 2 . . . 内部電極
- 3 . . . 絶縁体
- 4 . . . 外部電極
- 4 a . . . 空隙
- 4 b . . . ネック部
- 7 . . . 導電性補助部材
- 10 . . . 積層体
- 31 . . . 収納容器
- 33 . . . 噴射孔
- 35 . . . バルブ
- 43 . . . 圧電アクチュエータ

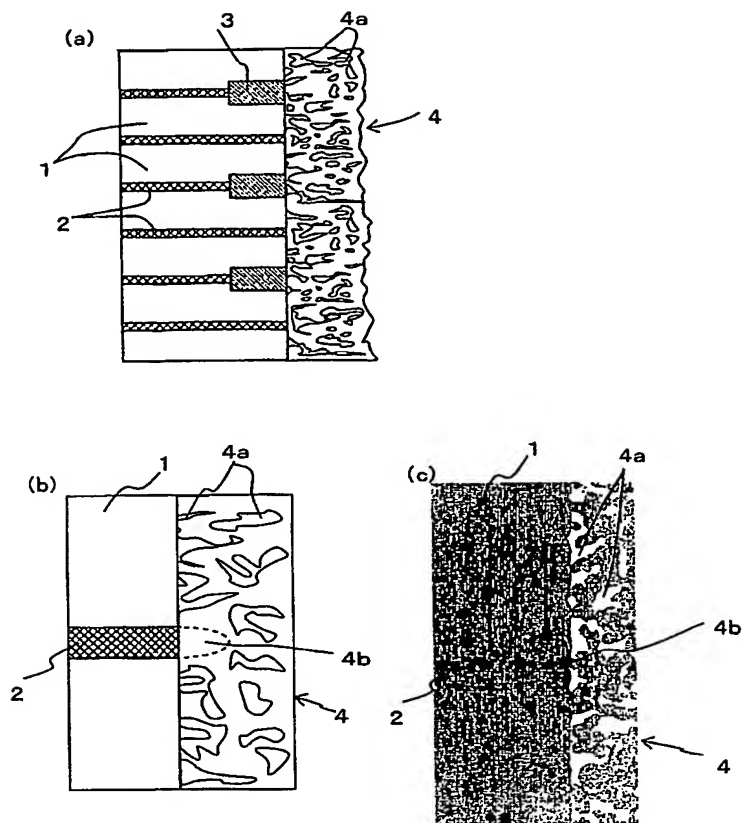


【書類名】 図面

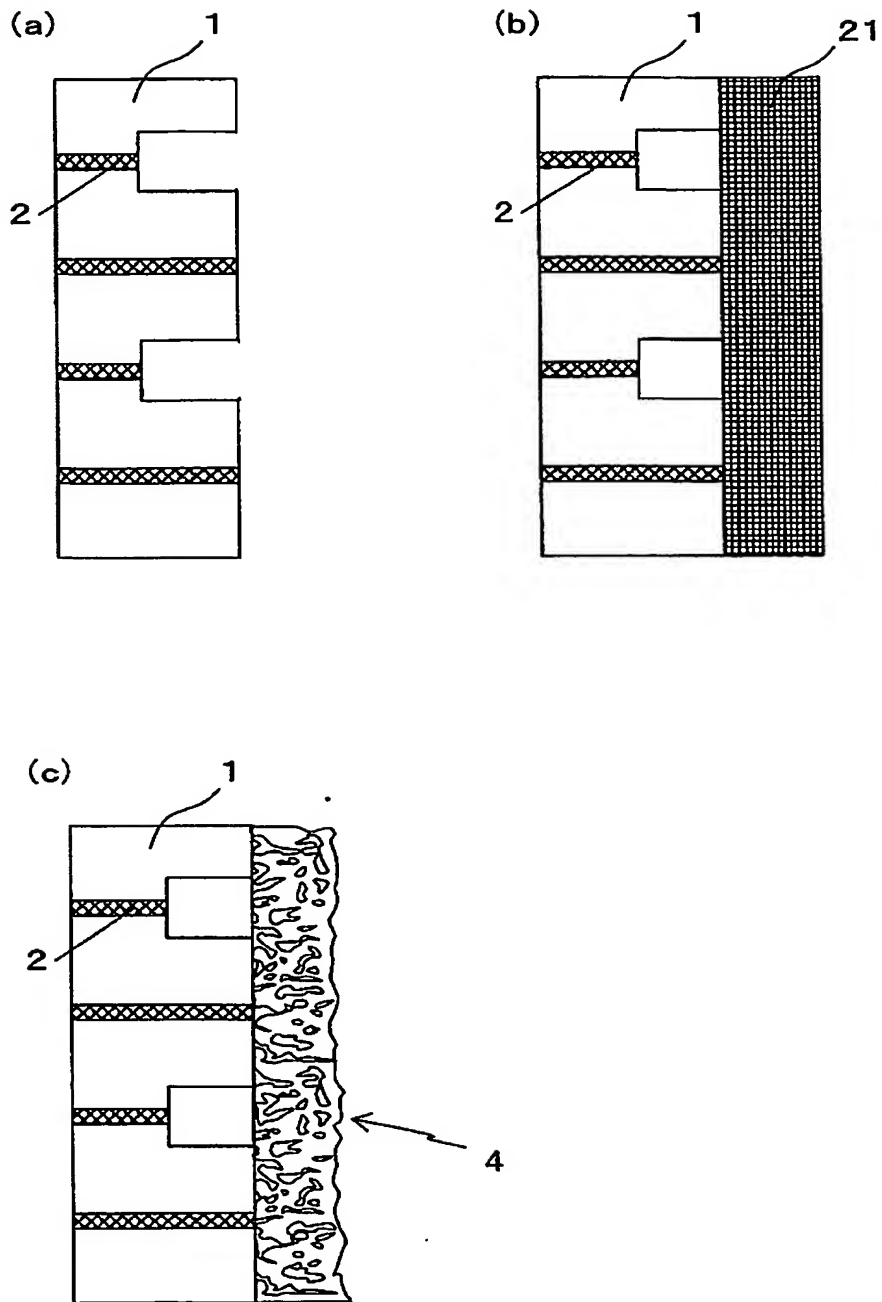
【図 1】



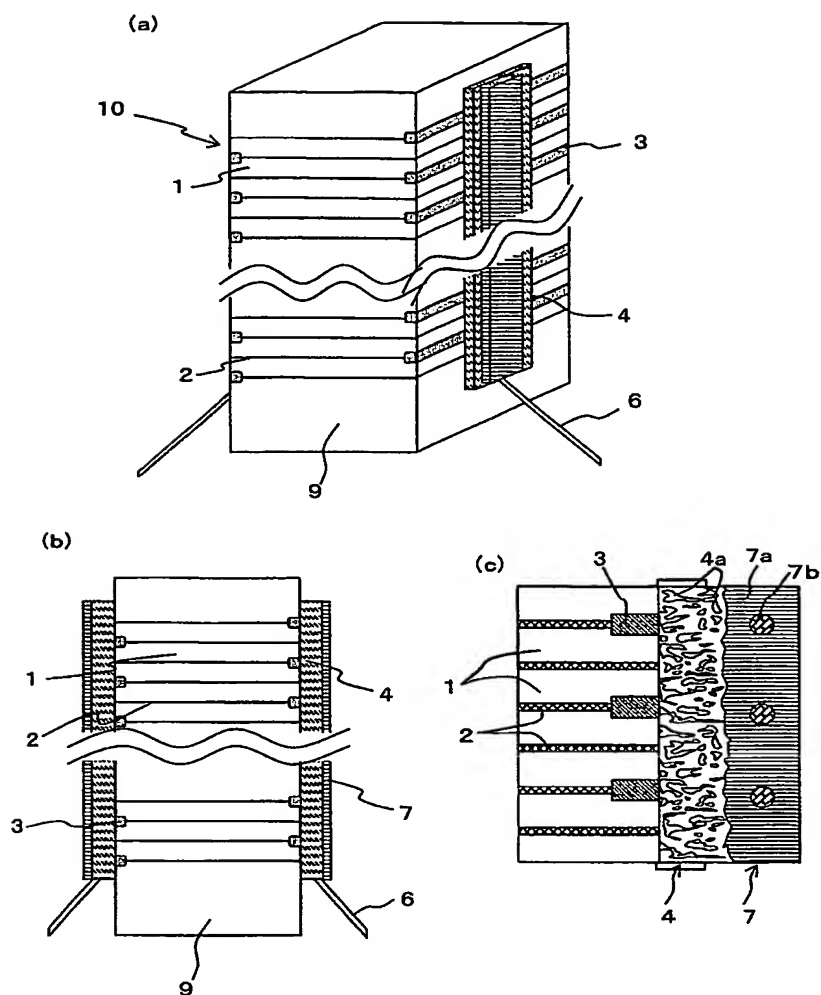
【図 2】



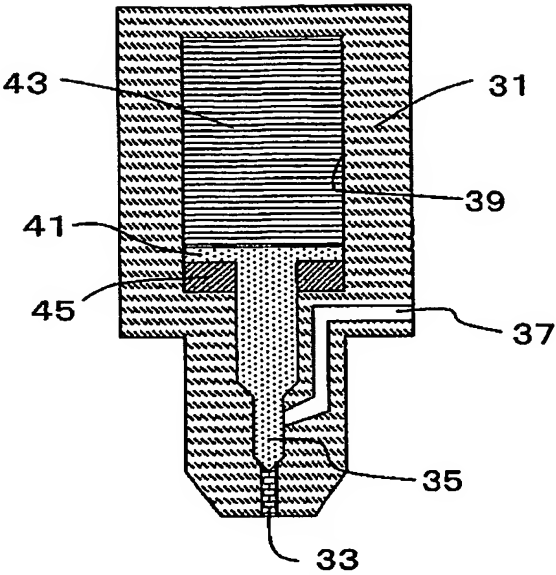
【図 3】



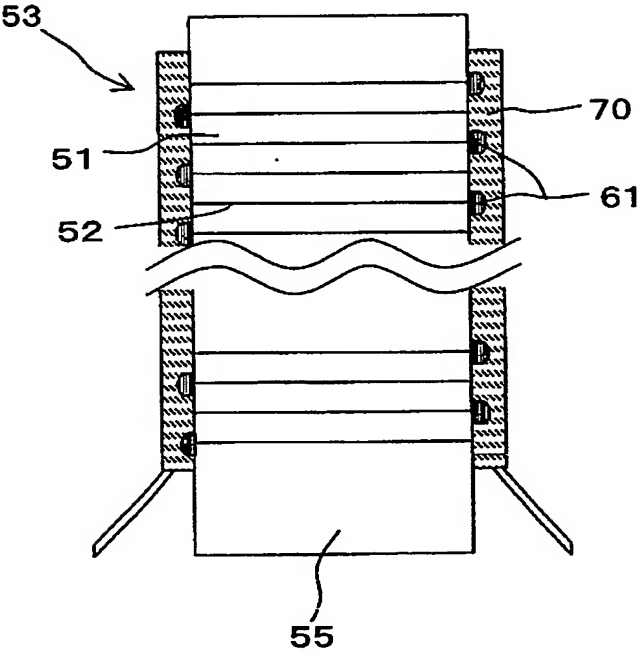
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合でも、外部電極と内部電極とが断線することがなく、耐久性に優れた積層型圧電素子及びその製法並びに噴射装置を提供する。

【解決手段】複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体と、該積層体の側面に設けられ、前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極とを具備してなる積層型圧電素子であって、前記外部電極が銀を主成分とする導電材とガラスからなり、前記内部電極 2 を構成する導電材中の銀重量比率を  $X$ 、外部電極 4 中の銀重量比率を  $Y$  としたとき、 $X \geq 85$ 、及び  $0.9 \leq X/Y \leq 1.1$  を満たすようにする。

【選択図】図 2

特願 2 0 0 3 - 3 3 2 0 2 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 6 6 3 3 ]

1. 変更年月日

1 9 9 8 年 8 月 2 1 日

[変更理由]

住所変更

住 所

京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地

氏 名

京セラ株式会社